

РОЛЬ АНТИОКСИДАНТНОЇ АКТИВНОСТІ У ДОВГОВІЧНОСТІ НАСІННЯ ПРЕДСТАВНИКІВ ВИДІВ І МАЛОПОШИРЕНИХ ФОРМ ПШЕНИЦІ

Скороходов М.Ю., Поздняков В.В., Богуславський Р.Л.
Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН, Україна

Встановлено зв'язок між довговічністю насіння малопоширених представників видового та внутрішньовидового різноманіття пшениці у модельних дослідах та рівнем антиоксидантної активності (АА). АА насіння однозернянок *Triticum sinskajae* та *T. monosocum* була в усіх варіантах досліду нижчою, ніж поліплоїдних видів пшениці. Ранжування вивчених зразків пшениці за рівнем АА, встановлене у контролі, зберігається після прискореного старіння за обома методиками та проморожування. Достовірна позитивна кореляції між АА у контролі та індексами енергії проростання, схожості, довжини паростків і первинного корінця після прискореного старіння та проморожування (r становить від 0,52 до 0,87) дозволяє прогнозувати за вихідним показником АА реакцію насіння зразків пшениці на прискорене старіння та проморожування, тобто здатність насіння до тривалого зберігання. Зниження показників життєздатності насіння під дією прискореного старіння пов'язано зі зниженням АА ($r = -0,86$).

Ключові слова: пшениця, насіння, довговічність, антиоксидантна активність, прискорене старіння, проморожування, енергія проростання, схожість

Вступ. Довготривале зберігання насіння у життєздатному стані є необхідною умовою ефективного використання генофонду рослин сучасним і майбутніми поколіннями. При цьому центральною проблемою є довговічність насіння, обумовлена складним комплексом чинників: фізіологічним станом насіння, генотиповими особливостями, умовами зберігання та ін. Існують різні підходи до діагностики стану насіння і прогнозування його довговічності [1]. Одним з інформативних критеріїв оцінки довговічності насіння визнано активність антиоксидантів (АА). Її розглядають як інтегральний показник здатності насіння протистояти окислювальним процесам, що супроводжують дію стресових чинників різної природи, до яких належить і старіння насіння під час зберігання [2, 3].

Видове і внутрішньовидове різноманіття сільськогосподарських культур, зокрема пшениці, знаходиться під загрозою втрати внаслідок генетичної ерозії [4], і тому є об'єктом особливої уваги з точки зору збереження. Мають місце генотипові та фізіологічні відмінності у механізмах, що визначають довговічність насіння цих форм. До таких механізмів належить, зокрема, АА. Отже, дослідження у цьому напрямі є актуальними.

Антиоксиданти зосереджені в основному в алейроновому шарі зернівки пшениці [5] і представлені переважно каротиноїдами, зокрема лютеїном [3]. У зародку, багатому на олію, основними антиоксидантами є токофероли [6].

Багатьма дослідженнями було показано можливість моделювати природне старіння насіння під час зберігання створенням спеціальних режимів «прискореного старіння», що дозволяє прискорити вивчення питань, пов'язаних із довговічністю насіння [7, 8, 9, 10]. Зокрема, встановлено, що під дією прискореного старіння знижується вміст антиоксидантів – каротиноїдов, перш за все лютеїну, у насінні м'якої [11] та твердої [12] пшениць.

Метою дослідження є встановлення ролі антиоксидантної активності у визначенні довговічності насіння малопоширених представників видового та внутрішньовидового різноманіття пшениці за результатами дослідів, що моделюють природне старіння насіння.

Матеріал і методи. Матеріалом для досліджень були вісім зразків генетичного різноманіття пшениці з Національного генбанку рослин України, що належали до трьох груп плідності і мали різне географічне походження. У тому числі гексаплоїдні види ($2n=42$):

T. aestivum L. представлені стандартним сортом Харківська 26 (Україна) і двома зразками з восковидним ендоспермом (типу waxy) PI619376 та PI619379 (США); *T. spelta* – сортом Frankenkorn (Німеччина); тетраплоїдні види ($2n=28$): *T. durum* Desf. – стандартним сортом Спадщина (Україна); *T. dicoccum* (Schrank) Schuebl. – сортом Полба 3 (Росія, Удмуртія); диплоїдні види ($2n=14$): *T. monococcum* – зразком UA0300439 (Угорщина); *T. sinskajae* – зразком UA0300224 (Росія). У плівчастих видів *T. spelta*, *T. dicoccum* і *T. monococcum* вручну видаляли луски з зерен. У контролі та кожному варіанті досліду аналізували по 100 зернівок у трьох повтореннях.

Довговічність насіння вивчали у модельному досліді «прискорене старіння», який моделює процес природного старіння насіння під час тривалого зберігання в нерегульованих умовах. Використовували дві методики прискореного старіння:

1) метод Hampton, TeKrony [7, 10], у відповідності до якого зразок насіння витримували в ексикаторі з водою упродовж трьох діб (72 год.) у відкритих скляних ємностях у термостаті за температури $43\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ і відносної вологості повітря 100 %;

2) метод Б.С. Ліхачова [13], згідно з яким зразки насіння, висушені до трьох рівнів вологості – 5 %, 6 % і 7 %, витримували у герметично закритих контейнерах за температури $37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 30 діб (720 год.).

Крім того, як варіант досліду застосовано зберігання протягом 30 діб (720 год.) у герметично закритій скляній тарі у морозильній камері за температури $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, що відповідає режиму довготривалого зберігання насіння у Національному генбанку рослин України.

Як контроль для усіх варіантів досліду використовували насіння, поміщене у герметично закрити скляну тару, що зберігалось у холодильній камері з температурою $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

У насіння з контрольного та усіх варіантів досліду визначали схожість та енергію проростання згідно Міжнародних правил аналізу насіння [14], а також довжину паростка та корінців на сьомий день після закладки на пророщування.

Визначення антирадикальної активності здійснювали за допомогою стабільного радикалу 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу (2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl – DPPH•) згідно методики, що наведена в [15] з невеликими змінами. Спиртовий розчин радикалу готували шляхом розчинення 22 мг DPPH• у 400 мл 80 % водного розчину етанолу і використовували впродовж робочої доби. Змішували 0,5 мл екстракту насіння з 3,5 мл розчину DPPH•, ретельно перемішували і через дві години визначали оптичну густину на CF Shimadzu UV-VIS – 1800 при довжині хвилі 517 нм.

Здатність зразків нейтралізувати вільний радикал DPPH• (антирадикальна активність – АА, %) визначали за формулою (1):

$$AA (\%) = (A - B) / A \times 100, \quad (1)$$

де А – екстинкція контрольного зразку (замість 0,5 мл екстракту зразка до розчину DPPH• додавали 0,5 мл 80 % розчину етанолу); В – екстинкція дослідного зразка після двогодинної реакції з розчином DPPH•

Визначення еквіваленту хлорогенової кислоти здійснювали за допомогою калібрувального графіку (діапазон концентрацій стандарту 0 – 300 мкМ).

Вплив методів прискореного старіння та проморожування на насіння оцінювали за індексом зміни показників під впливом стресового чинника I, який застосовується для оцінки ступеня стресостійкості рослин [16] (2):

$$= \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{(\bar{X}_2)} * 100\% \quad (2)$$

де: I – індекс зміни показників. Позитивне значення індексу означає зростання показника, тобто позитивний вплив досліджуваного чинника; негативне значення – зменшення показника, отже негативний вплив чинника;

X₁ – середні показники дослідного варіанту;

X₂ – середні показники у контрольному варіанті;

Обговорення результатів. У контрольному варіанті високою енергією проростання та схожістю (95 % і вище) характеризувалось насіння зразків *T. monococcum*, *T. aestivum* Харківська 26, *T. spelta*. Перші два з цих зразків показали активність антиоксидантів (АА) на рівні 38,51 % та 39,81 % відповідно, тобто порівняно знижену, у той же час АА *T. spelta* відповідала рівню 43,21 %, тобто була дещо вищою.

Порівняно низькими показниками (енергія проростання 82–85 %, схожість 85–90 %) характеризувалось насіння *T. durum* Спадщина, *T. aestivum* ПІ619379 (waxy). Їх рівень АА становив 49,45 % і 49,84 % відповідно, тобто був порівняно високим серед досліджених зразків.

Середніми показниками енергії проростання (90–92 %) і схожості (94–96 %) характеризувалось насіння *T. sinskajae*, *T. dicoccum*, *T. aestivum* ПІ619376 (waxy). Перший з них показав рівень АА найнижчий серед зразків – 35,08 %, останній – 51,98 %, лише *T. dicoccum* посідав проміжне місце – 42,94 %. Таким чином, у контрольному варіанті немає однозначної залежності між показниками життєздатності насіння та АА.

У цілому просліджується тенденція до негативної залежності між енергією проростання та схожістю насіння з одного боку та рівнем АА з другого: коефіцієнти парної кореляції становлять -0,64 та -0,63 відповідно, тобто за абсолютною величиною більше середнього рівня, обидва достовірні. Також негативною й достовірною була кореляція між довжиною паростка й АА: $r = -0,56$. Тенденцію до негативного зв'язку відмічено між довжиною первинного корінця та АА. Таким чином, у контрольному варіанті усі чотири характеристики насіння мають у цілому негативний зв'язок з АА.

Під дією прискореного старіння за методом Hampton, TeKronu майже всі вивчені зразки знизили показники життєздатності, за виключенням *T. dicoccum*, у якого вони залишились на тому ж рівні (табл. 1). Усі без виключення зразки знизили АА: індекс впливу становив від -5,6 % у *T. monococcum* до -15,0 у *T. durum* Спадщина (табл. 2).

Після дії цього чинника найнижчі показники енергії проростання та схожості (28 % і 30 % відповідно) мав *T. sinskajae* при рівні АА 32,59 % – найнижчому у цьому варіанті досліджу. Порівняно високу енергію проростання (92–93 %) та схожості (95–98 %) мали *T. aestivum* Харківська 26, *T. dicoccum*, *T. monococcum*, *T. Spelta*, у яких АА становила 36,34–39,71 %.

Проміжне місце за показниками життєздатності насіння (енергія 70 і 88 %, схожість 80 і 90 %) після прискореного старіння займали *T. durum* Спадщина і *T. aestivum* ПІ619376 (waxy) з АА на рівні відповідно 42,3 % та 45,68 % – найвищому по варіанту досліджу. Зв'язок між енергією проростання та схожістю насіння з одного боку та рівнем АА з другого боку середній позитивний і більш слабкий, ніж у контролі: коефіцієнти парної кореляції становлять 0,52 та 0,54 відповідно, обидва достовірні.

Середнім позитивним, хоча й не достовірним, був зв'язок між довжиною первинного корінця і АА. Відсутня кореляція між довжиною паростка та АА. Це можна пояснити обумовленістю абсолютних величин морфометричних показників більшою мірою генотипом і меншою – антиоксидантів як антистресових чинників.

Спостерігається значуща позитивна кореляція на рівні вище середнього між індексами впливу прискореного старіння за методом Hampton, TeKronu на енергію проростання, схожість та довжину первинного корінця з одного боку та АА з другого боку; недостовірною середня кореляція між індексом довжини паростка та АА. Крім того, під впливом прискореного старіння антиоксидантна активність насіння суттєво знижується у всіх досліджуваних зразків, про що свідчить від'ємний індекс цього показника. Причому, чим більше абсолютне значення АА, тим менше воно змінюється під впливом чинника: $r = -0,60$. Більше того, рівень АА у контролі тісно пов'язаний з цим показником після прискореного старіння: позитивно – з величиною АА ($r = 0,91$), негативно – з індексом АА ($r = -0,86$).

Має місце висока негативна кореляція між індексами довжини корінця та паростка та індексом АА: r становить -0,77 і -0,87 відповідно. Отже, більш сильний негативний вплив стресового чинника – прискореного старіння пов'язаний з підвищенням активності антиоксидантів. Це підтверджується на усіх чотирьох проаналізованих ознаках.

Таблиця 1

Вплив прискореного старіння за методом Hampton, TeKronu на показники життєздатності, морфометричні характеристики та антиоксидантну активність насіння зразків пшениці

Зразок (вид, сорт)	Hampton, TeKronu,				Контроль					
	енергія проростання, %	Схожість, %	Довжина, см коренів	АА, % проростка	енергія проростання, %	схожість %	Довжина, см коренів	АА, % проростка		
<i>T. monococtum</i>	92±4,2	98±2,4	7,29±2,1	8,86±2,0	36,3	98±0,7	100±0,0	11,60±1,9	11,68±2,0	38,5
<i>T. sinskajaе</i>	28±0,0	30±4,2	6,19±1,8	6,91±2,0	32,6	91±2,8	95±1,4	10,21±3,1	8,95±2,3	35,1
<i>T. dicocctum</i> Полба 3	93±6,7	97±2,7	13,71±2,9	12,62±2,0	42,9	92±7,0	96±2,8	16,53±2,1	13,71±1,6	42,9
<i>T. durum</i> Спадщина	70±4,2	80±2,8	10,75±2,3	9,67±2,1	42,0	82±8,5	85±3,5	9,85±1,5	6,78±2,7	49,5
<i>T. spelta</i> Frankenkom	93±2,83	95±0,1	11,36±2,6	8,62±2,1	43,2	97±5,7	100±2,8	14,40±2,1	11,39±1,2	43,2
<i>T. aestivum</i> Харівська 26	93±4,2	95±1,4	12,88±2,3	9,53±0,9	37,1	95±1,4	99±0,7	12,95±3,9	8,84±2,6	39,8
<i>T. aestivum</i> waxy PI619376	88±5,7	90±2,7	10,13±2,3	6,51±1,4	52,0	90±4,2	94±1,4	9,17±2,0	5,46±1,1	52,0

Індекси впливу прискореного старіння за методом Hampton, TeKrony на показники життєздатності, морфометричні характеристики та антиоксидантну активність насіння зразків пшениці

Зразок (вид, сорт)	Індекс впливу на показники, %				Індекс впливу на АА, %
	енергії проростання	схожості	довжини		
			корінців	проростків	
<i>T. monococcum</i>	-6,1	-2,0	-37,2	-24,1	-5,6
<i>T. sinskajae</i>	-69,2	-68,4	-39,4	-22,8	-7,1
<i>T. dicoccum</i> Полба 3	1,1	1,0	-17,1	-8,0	-7,7
<i>T. durum</i> Спадщина	-14,6	-5,9	9,1	42,6	-15
<i>T. spelta</i> Frankenkorn	-4,1	-5,0	-21,1	-24,3	-8,1
<i>T. aestivum</i> Харківська 26	-2,1	-4,0	-0,5	7,8	-6,8
<i>T. aestivum</i> Waxu PI619376	-2,2	-4,3	10,5	19,2	-12,1
Коефіцієнт кореляції індекс показника/АА	0,60	0,64	0,69	0,47	–
Коефіцієнт кореляції індекс показника /індекс АА	-0,11	-0,24	-0,77	-0,87	–

З іншого боку, спостерігається чіткий достовірний позитивний зв'язок між рівнем АА у контролі та індексами енергії проростання, схожості, довжини паростків і первинного корінця після прискореного старіння: r становить від 0,52 до 0,85. Це дозволяє певною мірою прогнозувати за вихідним показником АА реакцію насіння зразків пшениці на прискорене старіння, а отже і здатність насіння до тривалого зберігання. А саме, більш високий АА означає більшу довговічність насіння у зберіганні.

Прискорене старіння за методом Б.С. Ліхачова спричинило суттєвий негативний вплив на насіння з вологістю 5 %: однозернянки *T. monococcum* (індекси впливу становили від -9,0 % за показником схожості до -48,3 % за довжиною первинного корінця) та досить сильний негативний вплив на насіння воскоподібної м'якої пшениці (індекси показників від -38,9 % до -94,1 %, і лише за схожістю у *T. aestivum* PI619376 -9,6 %). У *T. sinskajae* вплив був слабким позитивним, за виключенням довжини корінця (-17,4 %); у *T. spelta* – незначним: на енергію проростання та схожість негативним, на довжину паростків і корінців – позитивним (табл. 3, 4).

У цілому для прискореного старіння за методом Б.С. Ліхачова (за виключенням довжини корінців) мав місце негативний зв'язок між показниками насіння з одного боку та АА – як вихідною (достовірний), так і після прискореного старіння (як тенденція) з другого, а також позитивний зв'язок між індексами ознак та індексами АА. Отже, антиоксидантна активність є більшою у зразків з нижчими показниками насіння після прискореного старіння (енергії проростання, схожості, довжини паростка). З іншого боку, зростання або зменшення означених показників у відповідь на застосований режим прискореного старіння пов'язано з відповідним зростанням або зменшенням антиоксидантної активності.

Таким чином, антиоксидантну активність можна розглядати як механізм протидії зниженню енергії проростання та схожості.

У досліді з проморожуванням вивчали чотири зразки. Після дії чинника вони мали певні відмінності за енергією проростання насіння: *T. sinskajae* – 95 %, *T. aestivum* Харківська 26 і *T. monococcum* – 97 %, *T. durum* Спадщина – 99 % (табл. 5). Із загальної кількості 16 розрахованих індексів впливу проморожування на показники життєздатності насіння і морфометричні показники паростків (табл. 6) дев'ять є значущими й позитивними, що означає зростання показника ознаки; два – від'ємних, що відповідає зменшенню показника; решта п'ять близькі до нуля, тобто величина ознаки не змінилась.

Таблиця 3.

Вплив прискореного старіння за методом Б.С. Ліхачова на показники життєздатності, морфометричні характеристики та антиоксидантну активність насіння зразків пшениці

Зразок (вид, сорт)	Прискорене старіння за методом Б.С. Ліхачова										AA
	Контроль					довжина, см					
	енергія проростання, %	схожість, %	коренів	довжина, см	проростка	енергія проростання, %	схожість, %	коренів	довжина, см	проростка	
<i>T. monosocum</i>	98±0,7	100±0,0	11,6±1,9	11,68±2,0	38,5	5	85±4,2	91±1,4	6,00±2,0	9,65±2,0	39,1
						6	97±1,4	99±1,4	13,80±2,6	12,61±2,3	38,7
						7	98±2,8	100±0,0	11,33±1,4	12,18±2,0	-
<i>T. sinskajae</i>	91±2,8	95±1,4	10,2±3,1	8,95±2,3	35,0	5	97±1,4	99±1,4	8,45±4,0	9,67±2,5	33,7
						6	99±1,4	100±0,0	13,03±3,6	11,97±3,1	34,3
						7	98±0,0	99±1,41	12,26±5,0	8,80±2,8	-
<i>T. dicocum</i>	92±7,1	96±2,8	16,5±2,1	13,71±1,6	42,9	5	99±1,4	100±0,0	19,28±3,2	15,16±3,5	-
Полба 3						6	87±4,2	92±2,7	19,10±4,1	14,21±3,8	-
						7	79±7,0	95±1,4	16,00±4,5	14,01±2,6	-
<i>T. durum</i>	82±8,5	85±3,5	9,8±1,5	6,78±2,7	49,5	5	88±5,7	97±1,4	8,13±2,6	8,78±2,5	50,6
Спадщина						6	88±2,8	95±1,4	15,62±3,9	13,21±2,5	52,6
						7	80±2,8	83±4,2	10,93±2,3	12,32±1,7	-
<i>T. aestivum</i>	95±1,4	99±0,7	13,0±3,9	8,84±2,6	39,8	5	94±2,8	98±2,8	13,68±2,8	8,32±2,2	40,1
Харківська 26						6	96±5,7	96±1,4	13,02±2,8	8,12±2,1	41,0
						7	99±1,4	100±0,0	11,71±2,1	7,98±2,4	-
<i>T. spelta</i>	97±5,6	100±2,8	14,4±2,1	11,39±1,2	43,2	5	93±1,4	97±1,4	14,82±3,8	11,56±2,4	43,4
Frankenkorn						6	91±3,8	96±0,3	14,65±3,5	12,10±2,0	45,6
						7	91±2,8	97±1,4	14,73±2,2	11,83±1,4	-
<i>T. aestivum</i>	90±4,2	94±1,4	9,2±2,0	5,46±1,1	52,0	5	55±21,2	85±7,7	4,98±1,5	3,13±0,9	47,8
waxy						6	86±14,1	92±0,0	8,73±4,9	4,01±2,1	53,8
PI619376						7	85±7,0	96±2,8	12,55±2,5	7,56±1,6	49,5
<i>T. aestivum</i>	85±5,7	90±2,8	13,37±3,7	8,22±2,3	49,8	5	05±7,0	50±14,1	5,50±1,8	2,35±0,4	47,2
waxy						6	83±4,2	90±2,8	14,41±4,1	9,43±3,4	46,7
PI619379						7	83±4,2	92±5,7	15,00±3,4	9,29±3,0	46,0

Таблиця 4.

Індекси впливу прискороного старіння за методом Б.С. Ліхачова на показники життєздатності, морфометричні характеристики та антиоксидантну активність насіння зразків пшениці

Зразок (вид, сорт)	Індекс впливу на показники, (%)				Індекс впливу на АА, %
	енергії проростання	схожості	корінь	довжини проростків	
	Вологість насіння 5 %				
<i>T. monococtum</i>	-13,3	-9,0	-48,3	-17,4	1,5
<i>T. sinskajae</i>	6,6	4,2	-17,2	8,0	-3,8
<i>T. spelta</i> Frankenkorn	-4,1	-3,0	2,9	1,5	0,4
<i>T. aestivum</i> Waxy PI619376	-38,9	-9,6	-45,7	-42,7	-8,1
<i>T. aestivum</i> Waxy PI619379	-94,1	-44,4	-58,9	-71,4	-5,2
	Вологість насіння 6 %				
<i>T. monococtum</i>	-1,0	-1,0	19,0	8,0	0,6
<i>T. sinskajae</i>	8,8	5,3	27,6	33,7	-2,3
<i>T. durum</i> Спадщина	7,3	11,8	58,6	94,8	6,3
<i>T. spelta</i> Frankenkorn	-6,2	-4,0	1,7	6,2	5,5
<i>T. aestivum</i> Waxy PI619376	-4,4	-2,1	-4,8	-26,6	3,6
<i>T. aestivum</i> Waxy PI619379	-2,4	0,0	7,8	14,7	-6,3
	Вологість насіння 7 %				
<i>T. aestivum</i> Waxy PI619376	-5,6	2,1	36,9	38,5	-4,8
<i>T. aestivum</i> Waxy PI619379	-2,4	2,2	12,2	13,0	-7,8
Коефіцієнт кореляції АА вихідне/індекс ознаки	-0,36	-0,21	0,02	-0,12	-0,23
Коефіцієнт кореляції індекс ознаки/АА	-0,23	-0,11	0,15	0,02	0,14
Коефіцієнт кореляції індекс ознаки/індекс АА	0,34	0,26	0,32	0,35	—

Таблиця 5.
Вплив проморожування на показники життєздатності, морфометричні характеристики та антиоксидантну активність насіння зразків пшениці

Зразок (вид, сорт)	Контроль				Проморожування				
	енергія пророс таня, %	схожість, %	довжина, см корінців	проростків проростків	енергія пророс таня, %	схожість %	довжина, см коренів	проростків проростків	
<i>T. monosocst</i>	92±4,2	98±2,4	7,29±2,1	8,86±2,0	38,5	100±1,4	12,0±2,0	11,0±1,5	38,5
<i>T. sinskaja</i>	28±0,0	30±4,2	6,19±1,8	6,91±2,0	35,0	99±0,0	14,7±1,7	11,1±2,5	32,5
<i>T. durum</i> Спадщина	70±4,2	80±2,8	10,75±2,2	9,67±2,1	49,5	100±1,4	13,7±2,5	12,5±2,9	49,1
<i>T. aestivum</i> Харківська 26	93±4,2	95±1,4	12,88±2,3	9,53±0,9	39,8	99±1,4	14,9±2,	8,3±1,3	38,8

Індекси впливу проморожування на показники життєздатності, морфометричні характеристики та антиоксидантну активність насіння зразків пшениці

Зразок (вид, сорт)	Індекс впливу на показники, %				Індекс впливу на АА, %
	енергії проростання	схожості	довжини		
			корінців	проростків	
<i>T. monococcum</i>	-1,0	0,0	3,4	-5,8	-0,08
<i>T. sinskajae</i>	4,4	4,2	44,0	24,0	-7,24
<i>T. durum</i> Спадщина	20,7	17,6	39,1	84,4	-0,61
<i>T. aestivum</i> Харківська 26	2,1	0,0	15,1	-6,1	-2,46
Кореляція індекс ознаки/АА	0,81	0,78	0,08	0,72	-
Кореляція індекс ознаки/індекс АА	0,20	0,19	-0,61	0,10	-

Таким чином, проморожування або позитивно вплинуло на показники насіння, або не змінило їх. Найбільшу стимулюючу дію спричинило проморожування на насіння пшениці твердої Спадщина (індекси становлять від 17,6 до 84,4 %).

Показник АА становив 32,54 %, 38,83 %, 38,48 %, 49,15 % відповідно і був у прямому й достовірному зв'язку з енергією проростання, $r=0,98$. Перелічені зразки були практично на одному рівні за схожістю насіння: 99–100 %, отже говорити про зв'язок немає сенсу.

У досліді з проморожуванням АА залишилась на рівні контрольного варіанту (*T. durum* Спадщина, *T. monococcum*) або змінилась мало (*T. aestivum*), індекс -2,46 %; *T. sinskajae*, -7,24 %.

Середнім позитивним, хоча й не достовірним, був зв'язок між довжиною паростка і АА. Усі зразки у відповідь на проморожування не змінили або мало зменшили АА: індекс становить від -0,08 до -7,24 %. При цьому зв'язок між АА у контролі та АА після проморожування функціональний: $r=0,99$.

Індекси впливу проморожування на енергію проростання, схожість і довжину паростка тісно і позитивно корелюють з показником АА насіння після проморожування: r становлять від 0,79 до 0,87. Індекс впливу на довжину корінця слабо корелює з індексом АА.

У цілому, стосовно впливу проморожування на антиоксидантну активність насіння можна заключити, що ступінь збільшення енергії проростання, схожості й морфометричних показників пов'язаний зі збільшенням АА.

Має місце тісний достовірний позитивний зв'язок між рівнем АА у контролі та індексами енергії проростання, схожості і довжини паростків після проморожування: r становить від 0,79 до 0,87. Це дозволяє певною мірою прогнозувати за вихідним показником АА реакцію насіння зразків пшениці на проморожування, а саме, більш високий рівень АА обумовлює більший ступінь зростання показників насіння під впливом проморожування.

Узагальнюючи одержані дані, слід відмітити такі факти: 1) порядок величини АА під дією обох чинників – прискореного старіння і проморожування порівняно з контролем в цілому мало змінюється або залишається на тому ж рівні; 2) коефіцієнти кореляції показників насіння з АА, які у контролі були від'ємними, у варіантах з прискореним старінням і проморожуванням стають додатніми; 3) АА позитивно корелює зі змінами енергії проростання, схожості і морфометричних показників насіння під дією обох чинників у напрямі їх зростання (тобто зменшення абсолютної величини негативних індексів, переважно за прискореного старіння, і збільшення – позитивних індексів, переважно за проморожування); 4) зміни довжини паростка і первинного корінця під дією прискореного старіння й другого з цих показників під дією проморожування відбуваються у протилежних напрямках зі зміною АА, про що свідчать від'ємні коефіцієнти кореляції між індексами впливу чинників на вказані ознаки та на АА.

На підставі одержаних результатів можна зробити висновки стосовно ролі АА у довговічності насіння.

Довговічність насіння обумовлена головним чином вихідною активністю антиоксидантів у насінні, а не активною реакцією насіння шляхом зміни цієї активності під дією негативних чинників. Це дає можливість певною мірою прогнозувати довговічність насіння за рівнем антиоксидантної активності.

Разом з цим, у вихідного насіння, що не піддавалось дії прискореного старіння та проморожування, антиоксидантна активність є механізмом протидії зниженню енергії проростання та схожості: у зразків з низьким рівнем цих показників АА частіше підвищена, і навпаки, у зразків з більш високими показниками життєздатності рівень АА частіше порівняно знижений. Хоча, ця залежність не однозначна, що, як можна припустити, пов'язано з генотиповою обумовленістю АА.

Серед вивчених зразків антиоксидантна активність однозернянок – диплоїдів ($2n=14$) була в усіх варіантах досліду нижчою, ніж поліплоїдних видів пшениці, причому у мутантної форми з полегшеним вимолотом зерна *T. sinskajae* вона помітно нижче, ніж у вихідної форми *T. monococcum*.

Висновки. Антиоксидантна активність (АА) насіння однозернянок – *T. sinskajae* та *T. monococcum* становила 32,54 % – 35,08 % та 38,51 % – 39,10 % відповідно і була в усіх варіантах досліду нижчою, ніж поліплоїдних видів пшениці: 39,81 % – 53,83 %, причому у *T. sinskajae* вона є нижчою, ніж у *T. monococcum*. Ранжування вивчених зразків за рівнем АА, встановлене у контролі, зберігається після прискореного старіння за обома методами та проморожування.

Під дією прискореного старіння за методом Hampton, TeKrony насіння вивчених зразків знизило у порівнянні з контролем показники життєздатності та АА. Рівень АА у контролі тісно пов'язаний з цим показником після прискореного старіння за цим методом: позитивно – з величиною АА ($r=0,91$), негативно – з індексом АА ($r=-0,86$).

Спостерігається чіткий достовірний позитивний зв'язок між рівнем АА у контролі та індексами енергії проростання, схожості, довжини паростків і первинного корінця після прискореного старіння: r становить від 0,52 до 0,85. Це дозволяє прогнозувати за вихідним показником АА реакцію насіння зразків пшениці на прискорене старіння, отже здатність насіння до тривалого зберігання. А саме, більш високий АА означає більшу довговічність насіння у зберіганні.

За результатами досліду з прискореним старінням за методом Б.С. Ліхачова, рівень вологості 6 % є більш близьким до оптимального для довготривалого зберігання, ніж 5 % і 7 %.

Проморожування або позитивно вплинуло на показники насіння, або не змінило їх. Показник АА був у прямому й достовірному зв'язку з енергією проростання: $r=0,98$. Індекси впливу проморожування на енергію проростання, схожість і довжину паростка тісно і позитивно корелюють з показником АА насіння після проморожування: r становлять від 0,79 до 0,87.

Тісний достовірний позитивний зв'язок між рівнем АА у контролі та індексами енергії проростання, схожості і довжини паростків після проморожування (r становить від 0,79 до 0,87) дозволяє певною мірою прогнозувати за вихідним показником АА реакцію насіння зразків пшениці на проморожування. А саме: більш високий рівень АА обумовлює більший ступінь зростання показників насіння під впливом проморожування.

Список використаних джерел

1. Baskin C.C., Baskin J.M. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Second Edition. University of Kentucky, Lexington, Kentucky, USA, 2014. 1586 p.
2. Liangli Yu. Wheat antioxidants. Publ. by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. New Jersey, USA, 2008. 275 p.;
3. Pinzino C., Capocchi A., Galleschi L., Saviozzi F., Nanni B., Zandomenighi M. Aging, free radicals, and antioxidants in wheat seeds. J. Agric. Food Chem. 1999. Vol. 47(4). P. 1333–1339.

4. Van de Wouw M., Kik Ch., Van Hintum Th., Van Treuren R., Visser B. Genetic erosion in crops: concept, research results and challenges. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*. Vol. 8(1). P. 1–15.
5. Zhou K., Su L., Yu L. Phytochemicals and antioxidant properties in wheat bran. *J. Agric. Food Chem.* 2004. Vol. 52(20). P. 6108–6114.
6. Capitani M., Mateo C.M., Nolasco S.M. Effect of temperature and storage time of wheat germ on the oil tocopherol concentration. *Braz. J. Chem. Eng.* 2011. Vol. 28, No2. P. 243–250.
7. TeKrony D.M. Accelerated aging test: principles and procedures. *Seed Technology*. 2005. Vol. 27, No 1. P. 135–146.
8. Смоликова Г.Н. Применение метода ускоренного старения для оценки устойчивости семян к стрессовым воздействиям. *Вестник СПбГУ*. 2014. Серия 3. Биология. № 2. С. 82–93.
9. Сафина Г.Ф., Филипенко Г.И. Долговечность семян при хранении и ее прогнозирование методом ускоренного старения. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2013. Т. 174. С. 123–130.
10. Hampton J.G., TeKrony D.M. *Handbook of vigour test methods*. International Seed Testing Association, Zürich. 1995. P. 117.
11. Calucci L., Capocchi A., Galleschi L., Ghiringhelli S., Pinzino C., Saviozzi F., Zandomenighi M. Antioxidants, free radicals, storage proteins, puroindolines, and proteolytic activities in bread wheat (*Triticum aestivum*) seeds during accelerated aging. *J. Agric. Food Chem.* 2004. Vol. 52(13). P. 4274–4281.
12. Galleschi L., Capocchi A., Ghiringhelli S., Saviozzi F., Calucci L., Pinzino C., Zandomenighi M. Antioxidants, free radicals, storage proteins, and proteolytic activities in wheat (*Triticum durum*) seeds during accelerated aging. *J. Agric. Food Chem.* 2002. Vol. 50(19). P. 5450–5457.
13. Лихачёв Б.С. Некоторые методические вопросы изучения биологии старения семян. *Сельскохозяйственная биология*. 1980. Т. XV, № 6. С. 842–844.
14. *Международные правила анализа семян*. Пер. с англ. Н.Н. Антошкиной. М.: Колос, 1984. 311 с.
15. Arabshahi S., Urooj A. Antioxidant properties of various solvent extracts of Mulberry *Morusindica* L. Leaves. *Food Chem.* 2007. Vol. 102. P. 1233–1240.
16. *Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство*. Л.: ВИР, 1988. 226 с.

References

1. Baskin CC, Baskin JM. *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Second Edition. University of Kentucky, Lexington, Kentucky, USA, 2014. 1586 p.
2. Liangli Yu. *Wheat antioxidants*. Publ. by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. New Jersey, USA, 2008. 275 p.;
3. Pinzino C, Capocchi A, Galleschi L, Saviozzi F, Nanni B, Zandomenighi M. Aging, free radicals, and antioxidants in wheat seeds. *J. Agric. Food Chem.* 1999; 47(4): 1333–1339.
4. Van de Wouw M, Kik Ch, Van Hintum Th, Van Treuren R, Visser B. Genetic erosion in crops: concept, research results and challenges. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*. Vol. 8(1). P. 1–15.
5. Zhou K, Su L, Yu L. Phytochemicals and antioxidant properties in wheat bran. *J. Agric. Food Chem.* 2004; 52(20): 6108–6114.
6. Capitani M, Mateo CM, Nolasco SM. Effect of temperature and storage time of wheat germ on the oil tocopherol concentration. *Braz. J. Chem. Eng.* 2011; 28(2): 243–250.
7. TeKrony DM. Accelerated aging test: principles and procedures. *Seed Technology*. 2005; 27(1): 135–146.
8. Smolikova GN. Application of the accelerated aging method to assess resistance of seeds to stresses. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo GU*. 2014; 2: 82–93.

9. Safina GF, Filipenko GI. Longevity of seeds during storage and its prediction by the accelerated aging method. *Trudy poprikladnoy botanike, genetike i selektsii*. 2013; 174: 123–130.
10. Hampton JG, TeKrony DM. Handbook of vigour test methods. International Seed Testing Association, Zürich. 1995. P. 117.
11. Calucci L, Capocchi A, Galleschi L, Ghiringhelli S, Pinzino C, Saviozzi F, Zandomeneghi M. Antioxidants, free radicals, storage proteins, puroindolines, and proteolytic activities in bread wheat (*Triticum aestivum*) seeds during accelerated aging. *J. Agric. Food Chem.* 2004; 52(13): 4274–4281.
12. Galleschi L, Capocchi A, Ghiringhelli S, Saviozzi F, Calucci L, Pinzino C, Zandomeneghi M. Antioxidants, free radicals, storage proteins, and proteolytic activities in wheat (*Triticum durum*) seeds during accelerated aging. *J. Agric. Food Chem.* 2002; 50(19): 5450–5457.
13. Likhachev BS. Some methodological issues of studying the biology of seed aging. *Selskokhoziastvennaia biologia*. 1980; XV(6): 842–844.
14. International rules for the analysis of seeds. Moscow: Kolos, 1984. 311 p.
15. Arabshahi S, Urooj A. Antioxidant properties of various solvent extracts of Mulberry *Morusindica* L. Leaves. *Food Chem.* 2007; 102: 1233–1240.
16. Diagnosis of plant resistance to stress. Leningrad: VIR, 1988. 226 p.

РОЛЬ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ В ДОЛГОВЕЧНОСТИ СЕМЯН ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ВИДОВ И МАЛОРАСПРОСТРАНЕННЫХ ФОРМ ПШЕНИЦЫ

Скороходов Н.Ю., Поздняков В.В., Богуславский Р.Л.
Институт растениеводства им. В.Я. Юрьева НААН, Украина

Цель. Установить роль антиоксидантной активности в определении долговечности семян малораспространенных представителей видового и внутривидового разнообразия пшеницы по результатам опытов, моделирующих естественное старение семян.

Методы. Долговечность семян изучали в модельном опыте «ускоренное старение» с использованием двух методик: Hampton, TeKrony (1995) и Б.С. Лихачева (1980). Также применили вариант хранения в течение 30 суток в герметично закрытой стеклянной таре в морозильной камере при температуре -20 °С, что соответствует режиму длительного хранения семян в Национальном генбанке растений Украины. Антирадикальную активность определяли с помощью стабильного радикала DPPH• согласно методике, изложенной S. Arabshahi, A. Urooj (2007).

Обсуждение результатов. Установлена связь между долговечностью семян и уровнем антиоксидантной активности.

Антиоксидантная активность (АА) семян однозернянок *T. sinskajae* и *T. monococtum* составила соответственно 32,54 %–35,08 % и 38,51 %–39,10 % и была во всех вариантах опыта ниже, чем АА полиплоидных видов пшеницы (39,81 %–53,83 %), причем у *T. sinskajae* она ниже, чем у *T. monococtum*.

Ранжирование изученных образцов по уровню АА, установленное в контроле, сохраняется после ускоренного старения по обеим методикам и промораживания.

Под действием ускоренного старения по методике Hampton, TeKrony семена изученных образцов снизили по сравнению с контролем показатели жизнеспособности и АА. Уровень АА в контроле тесно связан с этим показателем после ускоренного старения по этой методике: положительно – с величиной АА ($r = 0,91$), отрицательно – с индексом АА ($r = -0,86$).

Наблюдается четкая достоверная положительная связь между уровнем АА в контроле и индексами энергии прорастания, всхожести, длины проростка и первичного корешка после ускоренного старения: r составляет от 0,52 до 0,85. Это позволяет прогнозировать по исходному показателю АА реакцию семян образцов пшеницы на ускоренное старение.

ние, а следовательно, способность семян к длительному хранению. В частности, более высокий уровень АА означает большую долговечность семян в хранении.

Согласно результатам опыта с ускоренным старением по методике Б.С. Лихачева, уровень влажности 6 % является более близким к оптимальному для длительного хранения по сравнению с влажностью 5 % и 7 %.

Промораживание либо положительно повлияло на показатели семян, либо не изменило их. Показатель АА был в прямой и достоверной связи с энергией прорастания: $r = 0,98$. Индексы влияния промораживания на энергию прорастания, всхожесть и длину проростка тесно и положительно коррелируют с показателем АА семян после промораживания: r составляет от 0,79 до 0,87.

Выводы. Тесная достоверная положительная связь между уровнем АА в контроле и индексами энергии прорастания, всхожести и длины проростков после промораживания (r составляет от 0,79 до 0,87) позволяет в определенной степени прогнозировать по исходному показателю АА реакцию семян образцов пшеницы на промораживание. А именно: более высокий уровень АА обуславливает большую степень возрастания показателей семян под влиянием промораживания.

Ключевые слова: пшеница, семена, долговечность, антиоксидантная активность, ускоренное старение, промораживание, энергия прорастания, всхожесть

ROLE OF ANTIOXIDANT ACTIVITY IN THE LONGEVITY OF SEEDS OF WHEAT SPECIES AND MINOR FORMS

Skorokhodov N.Yu., Pozdniakov V.V., Boguslavskiy R.L.
Plant Production Institute nd. a V.Ya. Yuriev of NAAS, Ukraine

The aim and tasks of the study. To evaluate the role of antioxidant activity in the longevity of seeds of representatives of minor species and intraspecies diversity of wheat basing on experimental simulation of natural aging of seeds.

Material and methods. The longevity of seeds was experimentally evaluated by simulation of accelerated aging using two methods: Hampton, TeKrony (2005) and B.S. Likhachev (1980). In addition, seeds were stored hermetically sealed glass containers in a freezer at -20°C for 30 days, which corresponds to the long-term regimen of seed storage in the National Plant Genebank of Ukraine. Antiradical activity was determined using the stable DPPH radical, as described by S. Arabshahi (2007).

Results and discussion. Correlation between the longevity of seeds and the level of antioxidant activity was found.

The antioxidant activity (AOA) of einkorns *T. sinskajae* and *T. monococcum* was 32.54%–35.08% and 38.51%–39.10%, respectively, and was lower in all the experimental variants than that in polyploid wheat species (39.81%–53.83%). It was lower in *T. sinskajae* than in *T. monococcum*.

The ranking of the test accessions by the AOA level established in the control remained unchanged after accelerated aging by the both methods and after freezing.

Accelerated aging carried out by Hampton and TeKrony's method reduced the viability and AOA of seeds of the test accessions in comparison with the control. The level of AOA in the control closely correlated with this parameter after accelerated aging by this method: positively with the AOA value ($r = 0.91$) and negatively with the AOA index ($r = -0.86$).

There is a clear significant positive correlation between the AOA level in the control and the indices of germination power, germinability, sprout length and primary root length after accelerated aging: $r = 0.52$ – 0.85 . This makes it possible to predict the response of seeds of wheat accessions to accelerated aging, and consequently, the suitability of seeds for long-term storage, from the initial AOA index. In particular, a higher AOA level means a greater longevity of seeds.

The results of the accelerated aging experiment by B.S. Likhachev's method showed that the moisture level of 6% was closer to the optimal one for long-term storage as compared to the moisture content of 5% and 7%.

Freezing either had a positive effect on seed parameters or did not change them. The AOA had a positive significant correlation with the germination power: $r = 0.98$. The indices of the freezing effect on the germination power, germinability and sprout length closely and positively correlated with the AOA of seeds after freezing: $r = 0.79 - 0.87$.

Conclusions. The close significant positive correlation between the AOA level in the control and the indices of germination power, germinability and sprout length after freezing ($r = 0.79 - 0.87$) allows us to predict (to some extent) the response of seeds of wheat accessions to freezing from the initial AOA index. More specifically, the higher AOA level is, the greater the seed parameters increase under the influence of freezing.

Key words: *wheat, seeds, longevity, antioxidant activity, accelerated aging, freezing, germination power, germinability*

УДК 635.656 : 631.527 : 575

УСПАДКУВАННЯ ЦІННИХ ГОСПОДАРСЬКИХ ОЗНАК У F₁-F₂ ГІБРИДІВ ГОРОХУ

Сокол Т.В.

Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН, Україна

У статті наведено результати вивчення особливостей успадкування в F₁ гібридних популяцій гороху висоти рослин, основних елементів продуктивності та ознаки стійкості до збудників фузаріозної кореневої гнилі (*Fusarium spp.*) за ступенем домінантності. Визначено донорські властивості джерел стійкості та кількість генів, що контролюють ознаку стійкості до фузаріозу. Виділено ряд гібридних комбінацій, у яких прогнозується посилення прояву цінних ознак у наступних поколіннях, що дозволить провести добори та створити стійкий і продуктивний вихідний матеріал для селекції гороху. Визначено перспективи подальших досліджень.

Ключові слова: *горох, фузаріозна коренева гниль, штучний інфекційний фон, стійкість до хвороби, гібридизація, гібрид, ступінь домінантності, донорські властивості*

Вступ. Здавна зернобобові культури використовувались як важливе джерело білка. Горох має важливе значення не тільки для одержання високоякісного рослинного білка, а ще й агротехнічне. Однією з причин низької врожайності гороху є ураження рослин збудниками різних хвороб. За даними ряду дослідників ураження гороху фузаріозом, починаючи з ранніх фаз розвитку рослин, впливає на ріст та розвиток як кореневої системи, так і всієї рослини. При сильному ураженні кореневими гнилями гинуть сходи і дорослі рослини, знижується урожайність зерна до 50 % і більше, погіршується його товарна цінність. У даний час фузаріозна коренева гниль поширена в усіх районах вирощування культури: в Україні ураження гороху цією хворобою варіює за роками і зонами від 13 до 80 %. Втрати врожаю становлять близько 30 %, при цьому вміст білка знижується на 3–5 %. Створення стійких сортів є визнаним у всьому світі найбільш ефективним, економічно обґрунтованим і досконалим з погляду охорони навколишнього середовища методом захисту рослин, оскільки стійкість до збудників хвороб є важливим фактором стабільності виробництва будь-якої культури [1, 2, 3, 4]. На теперішній час найбільш розповсюдженим та ефектив-